

# 精准变量施肥机的研制与试验

王 秀, 赵春江, 孟志军, 陈立平, 潘瑜春, 薛绪掌

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

**摘 要:** 该文针对传统均匀施肥, 没有考虑土壤肥力不一致的特点, 介绍了一种可与国产拖拉机配套实现变量施肥的施肥机, 该施肥机在 GPS 导航系统的帮助下可以按照预先设计的处方图实现变量施肥。机械采用国产的普通外槽轮作为变量施肥机的肥料计量装置, 通过调整外槽轮的转动速度达到调整肥料量的目的。对变量施肥机械在田间的作业原理和机械的基本结构进行了详尽的介绍。针对变量施肥机施用肥料种类不同, 试验了在不同槽轮转速情况下, 使用不同肥料排肥数量的变化情况。试验证明在施用尿素时要增加槽轮的排肥槽长度, 在施用磷酸二铵等不规则的肥料时, 应力求减少排肥槽的长度, 通过增加槽轮转速达到提高排肥计量系统的精度。

**关键词:** 变量施肥机; 精准农业; GPS

**中图分类号:** TP7; S147. 2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)05-0114-04

## 0 引言

化肥做为植物生长的养分来源受到了各国农民的普遍欢迎, 普遍把化肥做为粮食增产的主要手段之一<sup>[1]</sup>。通常情况下农民使用化肥都是把化肥均匀地撒播在地表, 然后再进行相应的农艺作业。采取这样作业程序, 在土壤养分高、低不同的地方仍然使用相同数量的化肥就造成了在养分高的地段化肥过量使用, 这些过量使用的化肥一部分在土壤中被分解或吸收掉, 另外有部分在土壤中被淋溶, 由地下水吸收, 极易造成地下水资源污染, 影响人们的身体健康<sup>[2]</sup>。因此随着农业生产可持续发展, 化肥对环境造成的污染越来越受到有关国家的重视, 多数发达国家开始制定相关的法律限制化肥的使用数量。

随着全球定位系统(GPS)技术的普及与推广, 农业机械进行田间作业时, 在 GPS 系统的帮助下能够准确实时地获得其所在作业位置的地理坐标<sup>[3]</sup>, 对土壤实施定点管理成为一项比较成熟的技术逐渐获得推广与使用。这一系统在作物生长阶段的管理就是应用于变量机械施肥, 施肥机械在控制系统的控制下根据事先生成的施肥处方图进行施肥, 自动实现在土壤养分低缺的地方多施肥, 在土壤养分高的地方减少施肥, 在不需施肥的地方停止化肥的施入。化肥在施用过程中不但要数量精确, 而且施肥的位置也要准确。国外已有的变量施肥机械几乎无一例外地都是通过旋转的圆盘达到均匀撒播肥料的目的<sup>[4,5]</sup>。化肥撒播的范围通过调整圆盘的转速进行调整, 通常化肥撒播范围 10~ 30 m 之间, 这种结构的变量施肥机械只适用于大面积地块作业, 另外制造成本较高。在我国推广这种机械由于耕种的土地面积小, 使得变量施肥失去意义; 再者使用成本极高, 农民很

少能够购买得起。中国目前的现实情况是农民拥有的拖拉机数量比较多, 因此研制与我国拖拉机配套使用的变量施肥机械应成为研究重点。

中国目前变量施肥机械的研究多处于概念阶段, 机械变量施肥的幅宽比较小(1 m 左右)<sup>[6]</sup>, 而且多数地方使用的差分 GPS 定位, 系统误差普遍在 1m 的范围内, 因此若变量施肥机械幅宽太小, 在 GPS 定位系统产生误差的情况下, 机械可能会按照邻近区域的处方量实行施肥, 从而达不到变量施肥的目的。因此本文针对中国目前的农业生产与农田作业拖拉机配套情况, 研究设计了基于卫星全球定位系统确定机械在地块中的作业位置, 通过拖拉机上安装的机载电脑为控制器提供定位位置处的化肥施用量信息, 使机械在整个作业地块根据预先生成的处方图实行按处方自动变量施肥的 3.6 m 幅宽施肥机。

## 1 变量施肥机作业过程

根据土壤中养分含量的信息, 结合播种作物肥料需求, 通过和专家知识结合, 在办公室根据这些地块已有的信息生成该土壤条件下所需施用化肥的处方图, 该处方图以 ESR I 公司 GIS 产品中 SHP 文件的形式通过 ATF 卡导入精准变量施肥机控制系统的计算机内, 计算机把该处方图内有关施肥量的信息通过与安装在拖拉机上 GPS 测得的地理位置信息相互匹配, 自动取得该位置处所需施肥数量, 通过数据交换器把当前位置处的施肥数量值传输给施肥控制系统的中央控制器, 中央控制器把这些数字信号转换成模拟信号, 转换后的模拟信号控制液压节流阀的开度, 控制液压马达转速, 该转速信号通过安装在轴上的编码器反馈给控制器, 控制器把接收到的编码信号换算成施肥量反馈给计算机, 在屏幕上显示出目前位置所施肥料的数量。施肥机械田间的作业信息如拖拉机行走的轨迹、GPS 信号情况、作业面积、肥料箱中所剩的肥料数量, 以及田间实际的施肥量都可以由驾驶室内的计算机实时记录, 在施肥完成后都可以下载下来, 供以后处理与分析。

## 2 变量施肥机结构

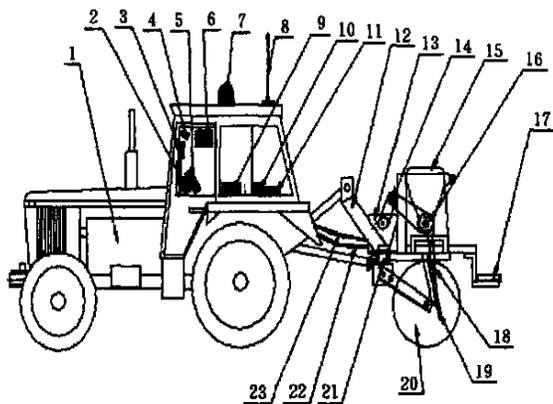
收稿日期: 2003-05-29 修订日期: 2004-04-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2001AA 245011); 国家科技成果转化项目(02EFN 211100016)资助

作者简介: 王 秀(1965- ), 男, 博士, 北京海淀区 2449 信箱 26 分箱  
国家农业信息化工程技术研究中心, 100089

### 2.1 变量施肥机机械结构

根据上述作业过程设计的与国产功率 37.8 kW 以上拖拉机配套的精准变量施肥机如图 1 所示。精准变量施肥机由拖拉机悬挂, 机架上固定的液压马达驱动排肥轮, 通过调整排肥轮的转速改变施肥量。拖拉机驾驶室顶部固定有 GPS 卫星接收天线和无线电差分信号接收天线。控制计算机为 Trimble 公司生产的 AgGPS170 田间计算机, 主要用于接受外部输入的处方图和田间导航时显示地块作业图。顶棚内前下方固定的导向光棒用于田间作业导航, 驾驶员在田间驾驶作业时通过观察导向光棒的导向偏移距离, 驾驶拖拉机按照设计的轨迹行走, 实现机械在田间按照处方图正确作业。安装在机架上的测速雷达提供准确的机械前进速度, 控制系统根据速度和目前的处方图上的施肥数量值, 自动地改变液压马达的转速, 使实际排肥量与处方图要求的排肥量相一致。经外槽轮排出的肥料通过散射板均匀地分布到地面。



1. 拖拉机 2 数据交换器 3 AgGPS170 计算机 4 导向光棒  
5 施肥控制开关 6 施肥控制器 7. GPS 卫星接受天线  
8 无线电接收天线 9 接线盒 10 电源分线盒 11. GPS 流动站  
12 三点悬挂机构 13 液压马达总成 14 中间传动轴  
15 肥料箱 16 排肥轮 17. 工作踏板 18 导肥管 19. 散肥器  
20 地轮 21. 机架 22 回油管 23 供油管

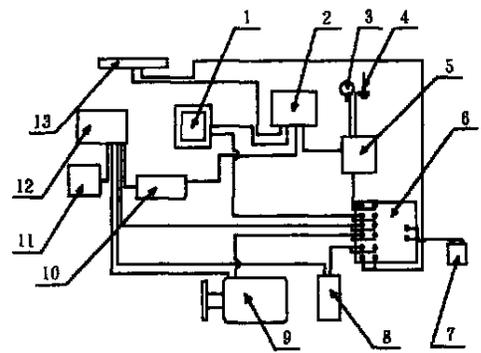
图 1 变量施肥机结构简图

Fig 1 Diagram of the structure of variable rate fertilizer treatment applicator

### 2.2 变量施肥机控制电路

图 2 为控制系统各部分之间的联系图, 导向光棒与计算机相联, 计算机接受 GPS 的位置坐标信息, 计算出拖拉机偏离设定的导航位置的距离, 把偏离距离值显示在导向光棒上, 告诉驾驶人员目前行使的位置偏离作业中心导航线的距离。施肥量控制器通过一个中央数据交换器与计算机的数据交互, 计算机把施肥量的信息发送给施肥控制器, 同时通过该数据交换器把实际施肥的信息反馈给计算机, 记录下机械变量施肥的实际数量。施肥控制器与测速传感器相连, 根据拖拉机前进的速度, 结合处方图上的实际施肥量及所施肥料的容重, 将施肥量的数值信息转换成模拟信息, 达到控制液压马达转速的目的, 实现变量施肥。施肥控制器在施肥作业开始前, 可以预先设定系统的缺省排肥量, 即当机械的前进速度

低于某一设定值时, 该缺省排肥量就是机械目前的排肥量。



1. AgGPS170 计算机 2 接线盒 3 GPS 卫星接收天线  
4 无线电接收天线 5 GPS 流动站 6 电源分线盒 7. 电源  
8 测速雷达 9 液压马达 10 数据交换器 11. 施肥控制开关  
12 施肥控制器 13 导向光棒

图 2 变量施肥机控制系统连接图

Fig 2 Connection map of control parts in applicator

### 2.3 变量施肥实施过程

根据施肥地块的土壤信息确定土壤的施肥处方, 以 shp 的文件格式通过 ATF 卡输入到 AgGPS170 计算机, 拖拉机上 GPS 卫星信号接收天线和无线电天线分别接收来自天上卫星和差分基站的无线电信号。接收到的信号经过系统处理后, 为系统提供精确到米级的位置差分信号, 系统软件根据获得的差分信号确定出施肥机械在地块中所处的地理位置, AgGPS170 计算机把施肥处方图内该位置处的施肥量信息通过数据交换器传输给施肥控制器, 控制液压马达的转速, 达到改变排肥量的目的。排肥开始和停止也可通过驾驶室内的施肥控制开关进行强制控制, 拖拉机在田间的行走通过导向光棒上的指示信号进行导向作业。AgGPS170 田间计算机屏幕上显示拖拉机在作业地块的座标位置和处方图上应该施肥的数量和实际施肥量。肥料由 24 个排肥轮排出后落入导肥管, 经散肥器把肥料均匀地撒在地表。液压油由拖拉机供油输出提供, 经过液压马达后由回油管回到拖拉机液压油箱中。系统中所有控制部件的电源由拖拉机的电瓶提供。

### 2.4 变量施肥机的配套动力与施肥量范围

配套动力为功率 37.8 kW 以上的国产拖拉机, 要附有液压输出口。该变量施肥机的肥料变化范围为 0~900 kg/hm<sup>2</sup>, 作业幅宽为 3.6 m, 适合施用的肥料是流动性好的颗粒状化肥, 如尿素和磷酸二铵, 肥料在施用前没有明显的结块。

## 3 变量施肥机排肥量试验

### 3.1 试验方法与材料

目前普遍使用的颗粒状化肥均是尿素和磷酸二铵, 因此试验所用的肥料也以这两种肥料为主。试验用尿素的容重为 0.759 g·cm<sup>-3</sup>, 粒度范围 d = 0.85~2.8 mm, 试验用磷酸二铵的容重为 0.912 g·cm<sup>-3</sup>。原有播种机的排肥轮长度为 45 cm, 使用整个排肥轮长度进行

排肥,当施肥量较小时排肥轴转速太慢,排肥误差较大,通过初期试验确定排肥轮的实际排肥宽度为 35 mm,排肥轮的转速由施肥控制器控制,施肥量的多少只与槽轮转速有关,控制器根据机械前进速度确定某一施肥量下的槽轮转速,排肥轮的实际转速通过测速传感器进行核定校正。在每一排肥器出口的位置上固定一个肥料接收袋接收排出的肥料,测定完成后对每个肥料接收袋内的肥料进行单独称重,每次测定排肥器转动的圈数约为 200 圈。

排肥试验通过改变控制器上的缺省排肥量的数值达到改变排肥器转速的目的。为了使施肥机实现均匀排肥和增加变量施肥的准确性,机械上总共设计有 24 个排肥口。由左至右顺序标号为 1~24。

### 3.2 不同转速条件下排肥器对尿素的排量对比

由于尿素颗粒多呈规则的圆球状,流动性较好。表 1 列出了外槽轮的转速不同时,每转动一圈尿素的排量。试验共设 4 种不同的排肥轮转速: 656、328、164 和 82 s/100 r,这些转速值可以通过变量施肥机控制器的缺省施肥方式设定,试验开始时,打开施肥控制器的启动开关即可以按照设定的转速驱动外槽轮转动。

表 1 不同槽轮转速情况下尿素排出量

Table 1 Urine weight at different wheel rotation speeds

$g \cdot r^{-1}$				
每 100 转耗时	平均值	最大值	最小值	标准偏差
656s/100r	16.52	17.58	15.70	0.65
328s/100r	16.54	18.17	14.15	0.85
164s/100r	15.46	16.14	14.84	0.41
82s/100r	18.32	19.26	15.11	0.82

表 1 中数值表示每种转速下 24 个排肥口排肥量的统计分析值,每种转速重复实验 3 次,共采样 288 次。槽轮转速较慢时,槽轮每圈的排肥量几乎没有差别,随着转速提高到 82 s/100 r 时则槽轮每圈的排肥量明显增加,造成这种现象的原因是当槽轮的转速提高时,除了本身槽中的肥料被排出外,由于槽轮的转速较快,与槽轮边缘相接触的肥料也被带出,造成了每圈排出的肥料数量比转速较低时的数量增大。

实验过程中最大与最小排肥量并不固定集中在某一个槽轮上,从实验的结果看最大与最小排肥量的变化呈现出随机趋势,例如在槽轮的转速为 656 s/100 r 时排肥量最大的槽轮是 2 号槽轮,排肥量最小的槽轮是 6 号槽轮;在转速为 328 s/100 r 时排肥量最大的槽轮是 13 号槽轮,排肥量最小的槽轮是 2 号槽轮;在转速为 164 s/100 r 时排肥量最大的槽轮是 2 号槽轮,排肥量最小的槽轮是 20 号槽轮;而在转速为 82 s/100 r 时,排肥量最大的槽轮是 2 号槽轮,而排肥量最小的槽轮则是 1 号槽轮。因此使用外槽轮作为变量施肥机的计量工具时要增加槽轮的排肥槽的长度,减少由于槽轮转速增加而导致的在不同排肥量处理时的排肥量误差。

### 3.3 磷酸二铵在不同转速条件下排肥器排肥量对比

表 2 为不同槽轮转速下的槽轮每转一圈的磷酸二

铵排肥量。表中采样及数值统计分析处理与表 1 相同。从表中可以看出,排肥轮的转速太快和太慢都将影响到排肥量的准确性,但总的趋势是外槽轮转速太慢,则槽轮每圈的排肥量将增大。槽轮的转速从 328 s/100 r 降到 656 s/100 r 时,则排肥量将增加 31.4%;当槽轮的转速从 164 s/100 r 降为 328 s/100 r 时槽轮每圈的排肥量只增加 2%。造成这种现象的原因是由于磷酸二铵与尿素相比,其表面粗糙度较大,肥料的流动性较差,当转速较低时肥料有更充分的时间落入槽轮内,因此有较多的肥料从槽轮排出。然而当槽轮的转速提高到 82 s/100 r 时,则和尿素具有相同的情形,槽轮边缘相接触的肥料也被排出。在该种情况下最大与最小排肥量的变化也呈现出随机化的趋势,并不是某一固定的槽轮在不同的槽轮转速情况下的排肥量呈现出最大或最小。

表 2 不同槽轮转速情况下磷酸二铵排出量

Table 2 Ammonium phosphate weight at different

wheel rotation speeds		$g \cdot r^{-1}$		
每 100 转耗时	平均值	最大值	最小值	标准偏差
656s/100r	24.37	25.26	21.64	0.87
328s/100r	18.54	19.38	17.63	0.49
164s/100r	18.14	19.27	15.77	0.85
82s/100r	19.00	20.06	17.77	0.58

从该项实验可以看出,当使用外槽轮作为变量施肥机的排肥计量部件时,应力求减少排肥槽轮的长度,通过增加槽轮的转速,从而达到提高试验精度的目的。

### 3.4 变量施肥机田间试验结果与分析

变量施肥机实验室试验后在田间进行了试验。根据 GPS 在拖拉机上的固定位置和测速装置确定液压马达的响应速度为 0.5s,机械前进的速度通过测速雷达传输给控制器,施肥控制器把施肥量信息和机械前进速度相比较,得出目前液压马达的转速,液压马达的转速通过安装在马达轴上的测速传感器反馈给控制器,控制器进行修正记录实际排肥数量。试验设计处方图栅格的施肥量为 225 kg/hm<sup>2</sup>,在试验栅格内沿施肥机前进方向每隔 2 m 放置一个 17.5 cm × 24 cm 的塑料矩形盘,盘的深度为 6 cm,沿施肥机横梁方向间距为 1.5 m,共计放 12 个塑料盘,试验肥料为尿素。施肥机通过这些放置

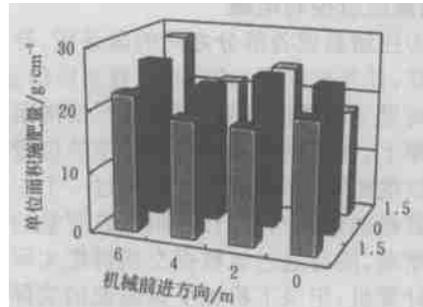


图 3 变量施肥机田间试验肥料分布

Fig. 3 Fertilizer distribution of the field test of the variable rate fertilizer applicator

矩形盘的区域后, 将盘内的肥料进行单独称重, 图3为每个盘中单位面积上的肥料数量。从图3可以看出, 肥料在一个很微小的区域内肥料的分布并不是完全均匀一致, 这在很大程度上与肥料从每个排肥器排出后, 由肥料散肥器内部的散肥结构引起的, 塑料盘内收集到的肥料平均量和理论排肥量沿施肥机前进方向的误差分别为6%、1%、6%和13%。

#### 4 结 论

利用国产带有液压输出的拖拉机作为变量施肥机的驱动动力, 可以通过改变排肥机构外槽轮的转速达到改变施肥量的目的。在施用的肥料是尿素时要增加槽轮的排肥槽的长度, 减少由于槽轮转速增加而导致的在不同排肥量处理时的排肥量误差。在施用的化肥是磷酸二铵等不规则的肥料时, 应力求减少排肥槽轮的长度, 通过增加槽轮的转速, 从而提高排肥计量系统的计量精度。

#### [参 考 文 献]

- [1] 石元春. 高技术与中国农业[R]. 中国农业工程学会第六届理事会. 北京. 1992. 12
- [2] 严定彬. 我国农业发展中的肥料问题[J]. 土壤肥料, 1994(4): 1
- [3] Morgan-Owen G J, Johnston G T. Differential GPS positioning [J]. Electronics and Communications Journal, Feb. 1995, 11- 21. Institution of Electrical Engineers
- [4] Parish R L. Effect of rough operating surface on rotary spreader distribution pattern [J]. Applied Engineering In Agriculture A S A E, 1991, 7(1), 61- 63
- [5] O lieslagers R, Ramon H, De Baerden aeker J. Calculation of fertilizer distribution patterns from a spinning disc spreader by means of a simulation model [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996a, 63 (2), 137- 153
- [6] 张书慧, 等. 一种精确农业自动变量施肥技术及实施 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 129- 131.
- [7] 张波屏. 中国特色的精确农业之路 [J]. 农业机械学报, 2000, 1: 124- 125
- [8] 邝朴生, 等. 精确农业基础 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999, 1.
- [9] 郑 堤, 唐可洪. 机电一体化设计基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997, 7.
- [10] Reetz H F. Site-specific nutrient management systems for the 1990s [J]. Better Crops with Plant Food, 1994, 4: 14 - 19

## Design and experiment of variable rate fertilizer applicator

Wang Xiu, Zhao Chunjiang, Meng Zhijun, Chen Liping, Pan Yuchun, Xue Xuzhang

(National Engineering Research Centre of Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

**Abstract:** The design and experiment of variable rate fertilizer applicator driven by home made tractor were introduced in this paper. The applicator was guided by a GPS system. It can apply fertilizer based on the fertilizer prescription map. The mechanism of metering system for the applicator uses a flute wheel. The amount of fertilizer was determined by the rotation speed of flute wheel. The working process and structure of applicator were also explained. The different kinds of fertilizer used for variable rate application were tested at four kinds of rotation flute speeds. The weight of fertilizer every rotation was compared. It shows that the flute wheel can be used for metering fertilizer in variable rate applicator. The flute speed affects the precision of different kinds of fertilizer. The length of the flute needs to be extended when applying urine. And it needs to be decreased and increases its rotation speed when applying ammonia phosphate.

**Key words:** variable rate fertilizer applicator; precision agriculture; GPS